

значений в контактной зоне «боек-заготовка» и существенно превышает интенсивность напряжений во всех других зонах. В моделировании было проведено слежение за точками, находящимися на контактной поверхности «боек-заготовка». В ходе деформирования попадания этих точек в очаг деформации зафиксировано не было.

Результаты моделирования в программном продукте «DEFORM-3D» подтверждают теоретические выводы.

УДК 621.9

## **СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ СПЛАВА ВТ9 ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ**

Костышев В.А., Питюгов М.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва  
(национальный исследовательский университет), г. Самара

Лопатки компрессоров газотурбинных двигателей относятся к числу наиболее нагруженных деталей, находящихся под воздействием больших растягивающих и знакопеременных изгибающих напряжений, работающие в агрессивных средах при повышенных температурах [1]. Зачастую, именно лопатки определяют ресурс работы и надежность ГТД. Повышение эксплуатационных характеристик и ресурса работы лопаток является одной из приоритетных задач авиационной промышленности.

Одним из наиболее перспективных методов изготовления лопаток является высокоскоростное выдавливание [2]. Этот метод позволяет получать тонкопрофильные изделия с коэффициентом вытяжки более 10 единиц из титановых сплавов, которые зачастую обладают недостаточной технологической пластичностью при обычных скоростях деформирования на кривошипном горячештамповочном оборудовании.

Для двухфазных титановых сплавов наряду с высокой усталостной прочностью и жаропрочностью, характерна высокая чувствительность к концентраторам напряжения, зависящая от структурно-фазового состояния материала. Пластинчатые структуры обладают более высокой трещиностойкостью чем глобулярные. Получение тонкопластинчатых структур, сочетающих высокую выносливость и вязкость разрушения, представляет значительные технологические трудности. Особенно сильное влияние на формирование структуры оказывает неравномерность деформации, связанная с градиентом температурного поля по сечению заготовки под выдавливание и в области формирования пера (в очаге деформации) при штамповке, и коэффициент контактного трения. Вследствие того, что коэффициент вытяжки при высокоскоростном выдавливании лопаток может превышать 10 единиц, применение различных видов стеклосмазок, эмалевых покрытий, графитовой суспензии и др. видов смазки не оказывает существенного влияния на снижение коэффициента контактного трения в области формирования профиля пера лопатки, поскольку смазка остается с поверхностными слоями металла заготовки в области формирования замковой и трактовой поверхностей лопатки. Одним из наиболее эффективных способов снижения коэффициента контактного трения при высокоскоростном выдавливании является покрытие исходных заготовок мягкими металлами. Оптимальным технологическим решением является нанесение на титановую заготовку никеля гальваническим методом. При температуре 980°C никель с титаном будут образовывать легкоплавкую эвтектику. Так как воздействие индуктором будет кратковременным, легкоплавкая эвтектика будет образовываться в контакте с поверхностью прутка тонкой пленкой и осуществлять роль смазки. Это значительно уменьшит коэффициент контактного

трения и обеспечит ламинарное течение металла в контактной зоне: «штамповая оснастка-заготовка», что позволит приблизиться к эффекту жидкостно-граничного трения и создать равномерность напряженно-деформированного состояния по всему объему штамповки. Также это позволит увеличить ресурс работы штампов.

Создание равномерного температурного поля в момент деформирования будет достигаться за счет применения индукционного нагрева. В результате такого нагрева поверхность будет перегреваться по отношению к сердцевине. При переносе заготовки от индукционной печи к высокоскоростному молоту, заготовка охлаждается и будет происходить выравнивание температуры по сечению. Таким образом, в момент деформирования заготовка будет иметь практически одинаковую температуру по всему объему, а высокая скорость нагрева токами высокой частоты позволяет существенно снизить рост зерна. Это способствует созданию равномерной деформации и последующего структурно-фазового состояния и повышению свойств готового изделия.

В условиях кратковременности деформирования и последующем быстром охлаждении тонких полотен штампованной детали внутризеренная структура зависит не только от условий деформации, но и от фазовой перекристаллизации ориентированных в процессе деформации  $\beta$ -зерен. Вследствие увеличенной плотности дефектов кристаллического строения, препятствующих непрерывному и свободному росту  $\alpha$ -пластин в одном направлении и способствующих зарождению новых  $\alpha$ -пластин не только на границах, но и внутри зерен, формируется текстурованная мелкозернистая структура  $\beta$ -зерен с тонкопластинчатым разориентированным внутризеренным состоянием  $\alpha$ -пластин. Такая структура обеспечивает получение наряду с высокими значениями прочности, пластичности выносливости, повышение КСТ в 4...5 раз по сравнению с традиционными глобулярными структурами.

#### Список литературы

1. Н.Д. Кузнецов. Обеспечение надежности двигателей для гражданской авиации / Н.Д. Кузнецов // Основные вопросы теории и практики надежности – М.: Советское радио, 1975.
2. Ю.П. Согришин, Л.Г. Гришин, В.М. Воробьев. Штамповка на высокоскоростных молотах – «Машиностроение», 1978.

УДК 621.7.044

### **ПОЛУЧЕНИЕ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ «МЕТАЛЛ-НЕМЕТАЛЛ» С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ**

Лазарева А.А., Черников Д.Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева (национальный исследовательский университет), г. Самара

В современной технике всё большее применение находят детали, образованные соединением металлических и неметаллических материалов.

Так, например, в изделиях аэрокосмического назначения это стержни, рамы, фермы силового набора, элементы трубопроводных систем, образованные соединением труб между собой или с металлическими законцовками различной формы. Аналогичные сборки используются при производстве спортивных изделий: лыжных палок, удилищ; в ювелирной промышленности.

Основными требованиями к соединениям, образованным деталями из металла и неметалла, являются: 1) достаточная прочность (адгезионные свойства); 2) герметичность; 3) электропроводность. Такие требования в первую очередь определяются качеством границы